

洪水流の河道内貯留に及ぼす低水路幅, 蛇行度 下流端条件の影響

EFFECTS OF MAIN CHANNEL WIDTH, SINUOSITY AND DOWNSTREAM
BOUNDARY CONDITION ON WATER STORAGE OF FLOOD FLOW

福岡捷二¹・栗栖大輔²・時岡利和³

Shoji FUKUOKA, Daisuke KURISU and Toshikazu TOKIOKA

¹ フェロー会員 Ph.D. 工博 広島大学大学院教授 社会環境システム専攻 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

² 正会員 工修 都市基盤整備公団 大阪国際文化公園都市開発事務所工事課

(〒562-0031 大阪府箕面市小野原東 6 丁目 2 番 1 号)

³ 学生会員 広島大学 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

The flood flow in rivers possesses characteristics of storage and peak attenuation of discharge. A sufficient understanding of these characteristics is essential for the river design. Our past studies have deepened basic understanding of the flood flow and clarified the influence of unsteadiness of flood flow, levee and main channel alignments and trees on flood channels. The objective of this study was to investigate detailed mechanism of the flood flow storage in channels, such as the effect of main channel width, sinuosity and boundary condition on water storage of flood flows. We conducted some experiments for understanding the above objectives. This study has highlighted the importance of consideration of channel storage in river design projects.

Key Words : *Flood flow, Compound meandering channel, Main channel width, Main channel sinuosity, Boundary condition, Flood storage volume*

1. 序論

我が国の治水計画は発生した洪水流を出来るだけ早く海へ放出することを第一に考えられてきた。その結果、強固な堤防を築き、コンクリート護岸などによって直線的な河道線形をもつ河川が数多く形成された。

しかし、近年失われた自然を取り戻そうとする動きを背景にして、「多自然型川づくり」、「川の自然再生事業」に代表されるように地域の人々の意見を反映した自然性の高い川づくりが重要な課題となり、多くの河川で治水と環境の調和を考慮に入れた河川整備の計画が検討されるようになってきた。

本研究の主題である河道内貯留機能とは、河道内を洪水流が流下する際に現れる河川が持つ機能の一つであり、洪水流量のピークが流下に伴って遅減する水理現象をいう¹⁾。「河川環境」が重要となっている今日において、河道内貯留効果をうまく利用し河道計画に取り込むことは、環境面にも配慮しつつ、治水効果を高めることにもなる

可能性が高い²⁾。

既往の研究では、洪水流の流下に対して洪水流の非定常性、堤防線形および高水敷上の樹木群などの粗度が河道内貯留効果に及ぼす影響について明らかにしている^{3),4)}。本研究では低水路線形が及ぼす影響について詳細に調べる。更に洪水流が潮汐の大きい海へ流入する場合、2つの大中河川が合流する場合など、洪水期間中下流端の水位が時間的に変動する場合についての河道内貯留機構を検討する。

2. 洪水流実験

(1) 実験方法

図-1 に示す固定床複断面水路の上流端で任意のハイドログラフを持つ洪水流を通水した。水路線形は直線(実験水路A)と蛇行の2種類あり、さらに蛇行水路は蛇行度と低水路幅を変えた3種類の水路で実験を行った。表-1 に実験水路諸元を示す。

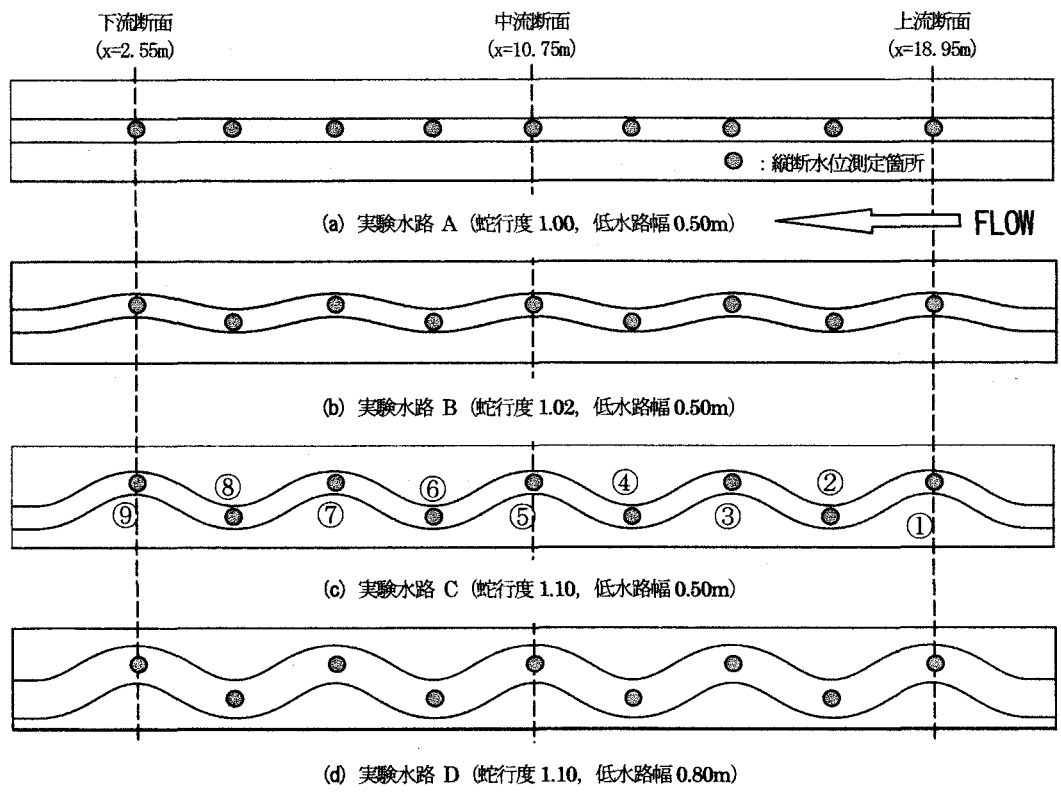


図-1 実験水路平面図

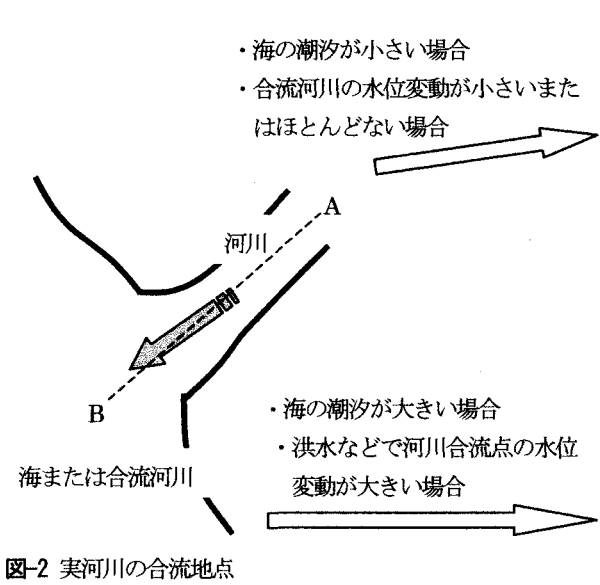


図-2 実河川の合流地点

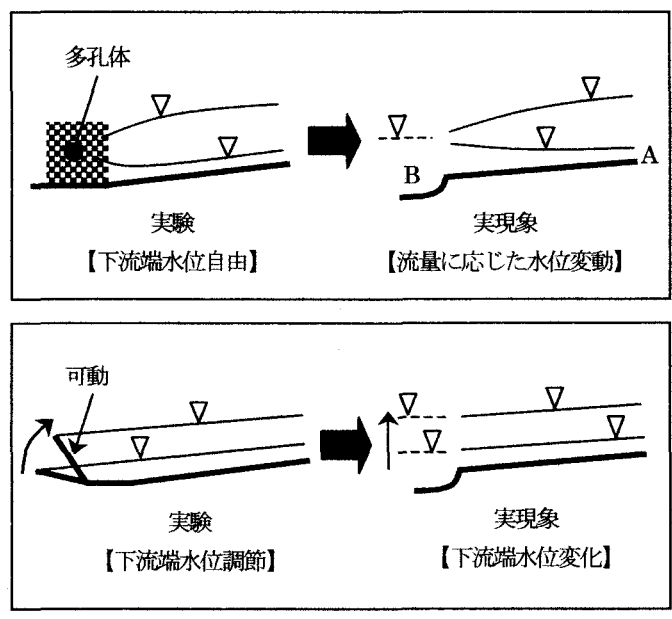


図-3 下流端境界条件変化との実現象との対応関係(河川縦断面図)

表-1 実験水路諸元

水路	水路長 (m)	蛇行度	蛇行波長 (m)	水路幅 B (m)	低水路幅 bmc (m)	bmc/B	備考
A	21.50	1.00	-	2.20	0.50	0.23	複断面直線
B		1.02	4.10				0.80
C		1.10					
D							

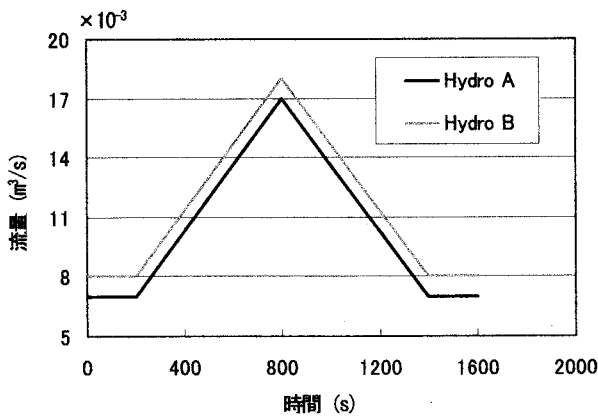


図-4 設定ハイドログラフ

表-2 設定ハイドログラフの諸元

洪水名	Hydro A	Hydro B	昭和58年 太田川
ピーク 流量	0.017 (m³/s)	0.018 (m³/s)	—
高水敷 冠水時間	1200(s)		—
増水時間	600(s)		—
実河川換算 ピーク流量	9622 (m³/s)	10188 (m³/s)	3500 (m³/s)
実河川換算 高水敷冠水時間	4.7(h)		6(h)

表-3 実験ケース

Case	1	2	3-1	3-2	4
実験水路	A	B	C		D
蛇行度	1.00	1.02	1.10		
低水路幅	0.50(m)			0.80(m)	
Hydro	A				B
下流端水位	自由		調節	自由	

図-4 は設定ハイドログラフ、表-2 はそれらの特性を示す。表-2 には太田川の昭和58年洪水のハイドログラフ特性も併せて示す。これより水路を1/200の模型と考え、フルードの相似則を適用すると、実験ハイドログラフは太田川の洪水流のハイドログラフをほぼ再現しており、実験水路で洪水流の貯留量を検討する条件として適切なものとなっている。また本実験で用いた水路の蛇行特性等水路諸元についても日本の代表的な実河川の蛇行諸元とよく対応していることが示されている⁵⁾。下流の流量ハイドログラフ ($Q_{out}(t)$) は上流断面 ($x=1895\text{cm}$) と下流断面 ($x=255\text{cm}$) の間の縦断水位を同時に測定し、その時間変化より求まる貯留量 (S) の時間変化 (dS/dt) とこれ

に対応する時刻の流入流量ハイドログラフ ($Q_{in}(t)$) とから求める。また図-2 には本研究が対象としている境界条件が変化する場合に貯留量が大きく影響を受ける2つのケース、すなわち大小河川の合流部と河口域を示している。図-3 は、これらの現象を実験室でシミュレートするための下流端境界条件の与え方を示す。下流端水位【自由】は空隙率91%の多孔体を下流端に設置して抵抗を付すことによって、下流端の水位が流量に応じて変化する状態をつくっている。下流端水位【調節】は水路下流端に設置された可動堰を制御することによって洪水期間中合流地点の水位変動を再現する。本来河川の洪水水位は、程度の異なる不等流・不定流状態となっており全ての条件(不等流・不定流条件)を考慮することは出来ない、そこで本研究では基準として洪水の各時間でその流量に相当する等流状態が起こっているものとして、貯留量の検討を行う。

(2) 実験条件

本研究では、表-3 に示すような異なる5つの条件で実験を行っている。Case1 は複断面直線水路(蛇行度1.0)での基本的な洪水流下現象に着目した。Case2, Case3-1 では蛇行度1.02, 1.10 と変化させた水路での実験を行い、Case1 とあわせて蛇行度が変化することの影響を検討した。Case4 で低水路幅を1.6倍とし、低水路幅が異なることの影響について検討を行った。ここでCase3-1 とCase4 の比較をするにあたって本研究では相対水深を等しくする必要があり、低水路幅の大きいCase4 にはHydroA より若干流量の大きいHydroB を流下させる。Case3-2 では下流端に設置してある可動堰を上流の水位変動に合わせて動かし、下流端で水位変動の小さいCase3-1 との比較を行う。

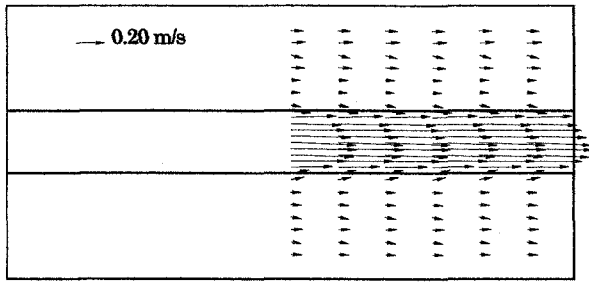
(3) 測定方法

水位の測定はサーボ式波高計、流速の測定は電磁流速計を用いて行った。前述の上下流断面間で水位の縦断分布を測定し(図-1)、流速は中流断面($x=1075\text{cm}$)において横断分布を測定した。

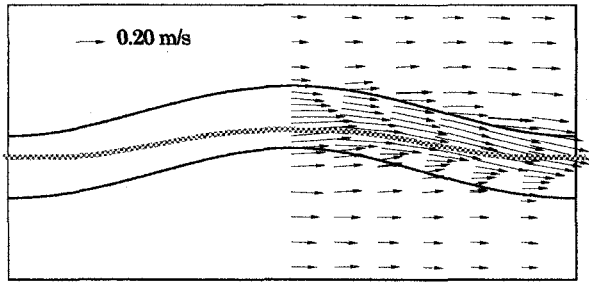
(4) 可動堰の制御方法

可動堰の制御は水路下流側に設置したフロート式水位計とパソコン、制御装置を連動させた堰制御プログラムを通して行っている。具体的には水路下流側の水位データをもとに水面勾配を1秒毎に算出し、それが常に一定の誤差内で水路床勾配と同じ1/1000になるように可動堰の高さを調節する。これにより、洪水期間中に水路下流側で常に等流に近い状態を再現している。

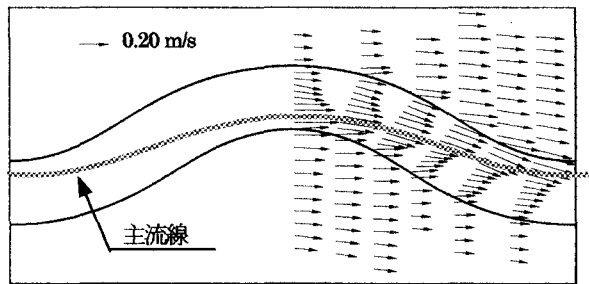
3. 実験結果および考察



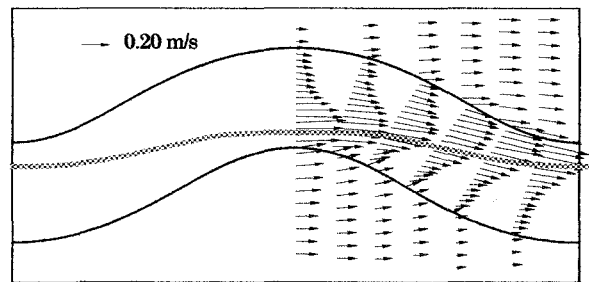
(a) 平面流況 (Case1)



(b) 平面流況 (Case2)



(c) 平面流況 (Case3)



(d) 平面流況 (Case4)

図-5 平面流況ベクトル図

(1) 各実験水路での流況の比較 (定常流実験)

各実験水路(実験水路 A~D)での定常流(流量 17 l/sec, 相対水深 0.4)における高水敷上 1cm の高さでの平面流況を流速ベクトル図で示す。水路 A (図-5. a) では低水路内に流れが集中し、高水敷上の流速と低水路内の流速の間に大きな差が現れている。高水敷上の流速は他の 3 ケースと比べてもかなり低くなっている。実験水路 B (図-5. b) では低水路内の流れが卓越しているが、高水敷流れと低水路流れの混合する領域である、高水敷の蛇行帯

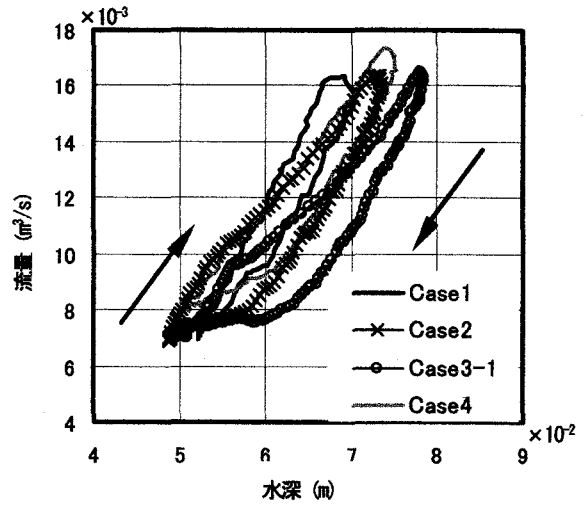


図-6 H-Q 関係の比較

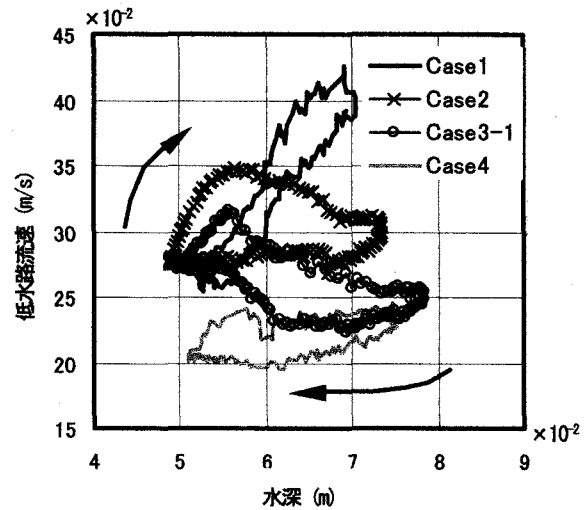


図-7 H-v 関係の比較

では低水路の端側とほぼ同程度の流速が生じている。実験水路 C (図-5. c) では実験水路 B と同様の傾向を示すが、蛇行度が 1.10 と大きくなったことにより、主流線の曲率が大きくなる。さらに低水路の抵抗が大きくなったため低水路の流速がやや減少し、その分水深が増大することにより、高水敷上の流速がやや大きくなっている。実験水路 D (図-5. d) では低水路幅が 80cm と大きく、流れの大部分が低水路内に集中し、高水敷上の流れと低水路内の流れに大きな流速差が生じている。低水路幅が広がったことにより、主流線はほぼ直線状であり、蛇行低水路とはいえほぼ蛇行直線水路と同様の流れ場を形成している。

(2) 蛇行度の違いが河道内貯留に及ぼす影響

図-6, 図-7 は洪水流の流下特性を水路中流断面 (x=1075cm) で測定された H-Q および H-v 関係で比較し示す。直線水路である Case1 の H-Q 関係は、増水期と減水期とで同一水深における流量差が小さい。これに対して Case2, Case3-1 の H-Q 関係は徐々に右に傾き、ル

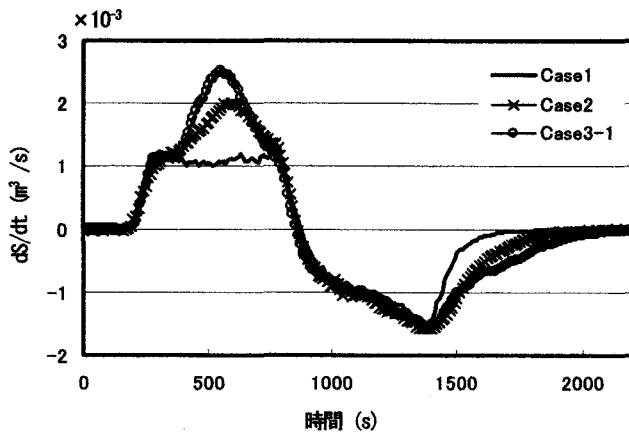


図-8 貯留量の比較 (Case1, Case2, Case3-1)

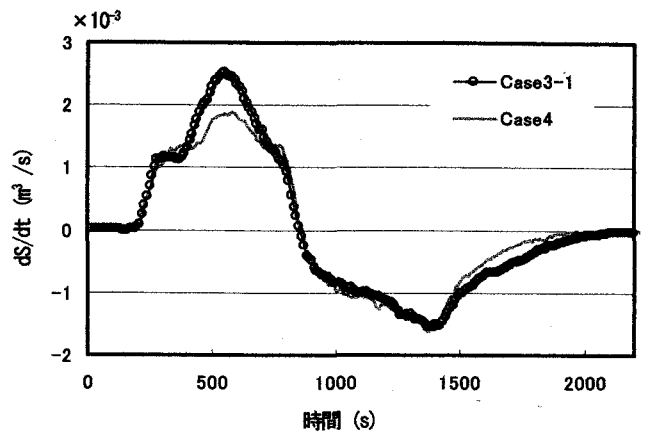


図-9 貯留量の比較 (Case3-1, Case4)

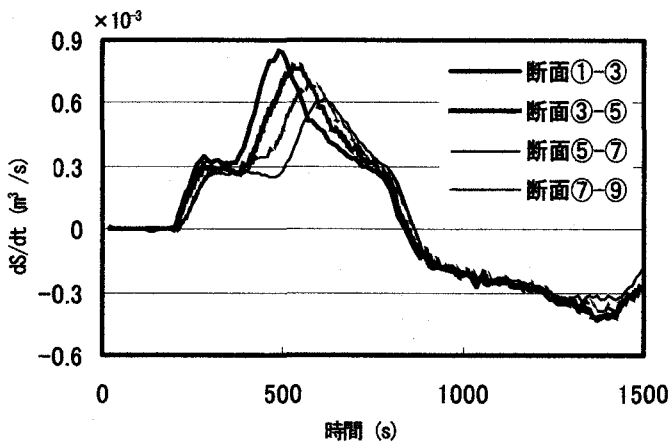


図-10 下流端水位無調節の場合の各区間貯留量 (Case3-1)

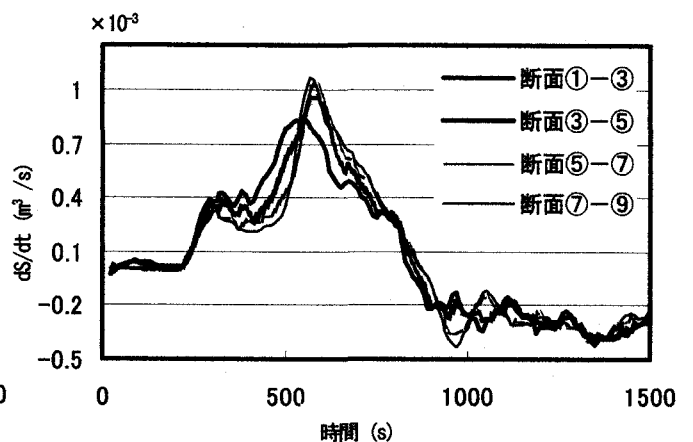


図-11 下流端水位調節の場合の各区間貯留量 (Case3-2)

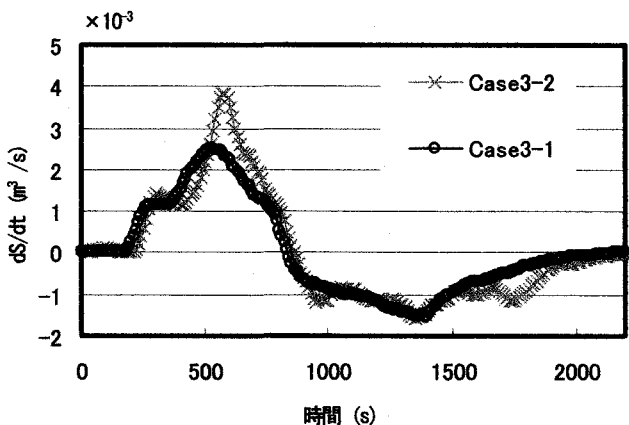


図-12 貯留量の比較 (Case3-1, Case3-3)

ープの大きさも大きくなっている。一方、H-v 関係では Case1 の変動が水深の増加に伴い流速も増加する単断面的な特性を示す。これに対して Case2, Case3-1 では高水敷冠水後に流速のピークを示した後、高水敷上の流れと低水路内の流れの混合の影響により流速は大きく減速する。この時、流速の低下の程度は蛇行度の大きい Case3-1 の方で大きく現れる。図-8 は Case1, Case2, Case3-1 の流れの貯留量 (dS/dt) の比較を示す。前述したように蛇行度が小さい水路では流れの直進性が増し、洪水流の流下に及ぼす高水敷上の流れと低水路内の流れ

の混合による影響が小さいため、貯留量も小さい。これに対し、蛇行度が大きい水路では低水路内の流れの直進性が失われ、高水敷上の流れと低水路内の流れの混合による影響が大きくなるため、貯留量のピークは大きくなる。

(3) 低水路幅の違いが河道内貯留量に及ぼす影響

図-6 に示した H-Q 関係では、Case4 の H-Q 関係は Case3-1 よりも立ちあがったループを描いており、水深の変動幅も小さくなっている。また図-7 の H-v 関係では、Case4 の H-v 関係は水深の増加に伴って緩やかに増加していることから、流れは単断面的な特性を示している。これは図-5.d に示したベクトル図に見られるように、低水路幅の増加によって低水路内に流れが集中し、低水路内の流れの主流線が小さい曲率を示すため、蛇行度が大きい水路においても、弱い単断面的な洪水流の流下特性が現れたと考えられる。図-9 に貯留量の比較を示す。Case4 の洪水流の流下特性は単断面的であったことから、Case4 において、高水敷上の流れと低水路内の流れの混合による影響は小さい。このため、貯留量は Case3-1 に対して少なくなり、また洪水継続時間も短くなる。

(4) 下流端境界条件の違いが河道内貯留に及ぼす影響

図-10、図-11 に下流端条件が自由な場合(Case 3-1)と調節されている場合(Case3-2)について水路の各区間での貯留量を示す。これは水路を断面①, ③, ⑤, ⑦, ⑨で4区間に分け、それぞれの区間での貯留量を評価したものである。Case3-1 では増水期で時間と共に貯留量のピークが下流の区間に移っている。これは下流端【自由】のCase3-1 場合は、上流から下流に向かって流量の貯留が伝播していくことを示している。また、上流ほど水面勾配が大きくなり、これにより上流区間の方が貯留量が大きくなっている。これに対してCase3-2 では断面①-③以外の区間で貯留量のピークがほぼ重なっている。

Case3-2 では①-③区間を除き水位の調節によって各時間等流に近い状態が保たれている。即ち、水深が等しく増加するため区間別の貯留量も等しく増加する。従って、Case3-2 では上流から伝播してくる洪水の貯留に加えて下流端水位の影響により下流からも貯留が伝播してきている。

図-12 には Case3-1, Case3-2 の流れにおける水路全体での貯留量の比較を示す。前述したように Case3-2 では下流端水位変化の影響により下流からも貯留が伝播し、上流から伝播してくる貯留分に加わるため、全体ではCase3-1 より貯留量が増えている。また洪水継続時間もCase3-1 に比べてCase3-2 の方がかなり長くなっている。

4. 結論

本研究では、低水路線形と低水路幅、下流端条件に着目した実験を行い、河道内貯留に及ぼすこれらの影響を明らかにした。本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 複断面蛇行水路において、同じ流量ハイドログラフについて低水路蛇行度が小さくなると低水路内の流れの主流線の曲率が小さくなるほど流れの直進性が増加する。よって貯留効果は低くなり、洪水期間中のピーク流量も低く抑えられる。これに対して低水路蛇行度が大きくなると、高水敷上の流れと低水路内の流れの混合が大きくなるため、貯留効果は高くなる。

- 2) 複断面蛇行水路において低水路幅が広がると、低水路内の流れの主流線の曲率が小さくなり、水路幅に対する低水路幅の割合が大きくなるので、流れが低水路幅に集中しやすくなる。このため低水路幅が広がると貯留効果が低くなり、ピーク水深も抑えられる。
- 3) 下流端の水位が時間的に変化する場合、下流側からも貯留が起こり上流へ伝播してくる。このため、上流から伝播してくる貯留量と、下流からの貯留量加わり全体として貯留量は増加する。また洪水継続時間にも大きな影響を与える。

河道内貯留効果を実際の河川計画に考慮に入れるには、貯留効果が洪水流の非定常性、河道平面形、横断面形、下流端境界条件などの影響を受けるため、対象とする河川毎、貯留が大きいと考えられる河道区間での評価が求められる。このため、洪水観測データの収集、検討、二次元数値解析による計画規模流量の貯留量の評価、予測が課題となる。

参考文献

- 1) Ven te Chow : Open channel Hydraulics, McGROW-HILL, Chapter 20, pp.586-609, 1956.
- 2) 福岡捷二：水理的視点に立った治水と環境の調和した川づくり，21 世紀の技術者像と地域の安全に向けて，継続教育制度創設記念講習会，土木学会，pp, 1-1～1-23, 2002
- 3) 福岡捷二，渡邊明英，岡部博一，關浩太郎：洪水流の水理特性に及ぼす，非定常性，流路平面形，横断面形の影響，水工学論文集，第44巻，pp. 867-872, 2000.
- 4) 福岡捷二，關浩太郎，栗栖大輔：河道における洪水流の河道内貯留とピーク流量低減機能の評価，河川技術に関する論文集，Vol. 6, pp. 31-36, 2000.
- 5) 岡田将治，福岡捷二，貞宗沙織：複断面蛇行河道の平面形特性と蛇行度，相対水深を用いた洪水流の領域区分，水工学論文集，第46巻，pp, 761-766, 2002
- 6) 福岡捷二，栗栖大輔，A. G. Mutasingwa，中村 剛，高橋政則：洪水流の河道内貯留に及ぼす堤防と低水路の位相差および高水敷の影響，水工学論文集，第46巻，pp. 433-438, 2002.
- 7) 水理公式集，第2編第2章洪水流の解析，pp87-138, 1999

(2002. 9. 30受付)